

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



PCT/EP200 4 / 0 0 6 0 1 6

(2.9. 06. 2004)

REC'D 01 OCT 2004

WIPO PCT

### Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 37 489.2

**Anmeldetag:** 14. August 2003

**Anmelder/Inhaber:** P & L GmbH & Co KG, 20148 Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Werkzeugverschleisskorrektur

**IPC:** B 23 Q, G 01 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Juni 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hintermeier

HOEFER & PARTNER



PATENTANWÄLTE  
EUROPEAN PATENT ATTORNEYS  
EUROPEAN TRADEMARK ATTORNEYS  
EUROPEAN DESIGN ATTORNEYS

P & L GmbH & Co. KG

Turmweg 31

20148 Hamburg

ROE030801PDE-3/mh

13.08.2003

---

Verfahren zur Werkzeugverschleißkorrektur

---

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einer automatischen Werkzeugverschleißkorrektur.

Im Einzelnen bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Hauptanspruchs.

Bei der Bearbeitung von Werkstücken mittels Fräsen oder Schleifen tritt am Werkzeug bedingt durch den Bearbeitungsprozess Verschleiß auf. Dieser Verschleiß führt zu einer Veränderung der Schneidgeometrie des Werkzeuges und in der Folge zu Maßabweichungen an den herzustellenden Werkstücken. Der Verschleiß am Werkzeug ist bei vielen Bearbeitungen, z.B. Fräsen oder Schleifen, ein kontinuierlicher Prozess, der sich aber nicht vorherbestimmen lässt.

Um zu hohe Abweichungen am Werkstück zu vermeiden, ist es bekannt, den Bearbeitungsprozess zu unterbrechen und das Werkzeug und/oder das Werkstück mit einer geeigneten Messeinrichtung in der Maschine automatisch zu vermessen.

Nachfolgend erfolgt dann eine Korrektur der Zustellung des Werkzeugs, um die Werkstückoberfläche in der gewünschten Weise maßgerecht zu bearbeiten.

Wenn eine bestimmte Verschleißtoleranz-Grenze überschritten ist, kann ein so genanntes Schwesterwerkzeug eingewechselt werden, um die weitere Bearbeitung durchzuführen. Ein derartiges Schwesterwerkzeug gleicht dem ursprünglichen Werkzeug.

Bei bestimmten Maschinen, z.B. Flachsleifmaschinen, ist auch eine kontinuierliche Kontrolle des Werkzeuges bzw. der Schleifscheibe während der Bearbeitung bekannt. Diese kontinuierliche Kontrolle wird dazu verwendet, während der Bearbeitung den Verschleiß kontinuierlich in der Steuerung durch eine entsprechende Zustellung in der Maschine zu korrigieren. Bei vielen Maschinen ist dieses Verfahren jedoch nicht möglich, da eine Vermessung der Geometrie des Werkzeuges während des Bearbeitungsprozesses technisch nicht durchführbar ist. Der Prozess muss bei diesen Maschinen unterbrochen werden um das Werkzeug zu vermessen.

Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass der Verschleiß nur in Intervallen mit Verzögerung vermessen wird. Bei Maschinen mit kurzen Bearbeitungszeiten für eine Fläche, z.B. Drehmaschinen, spielt das keine große Rolle, da die Vermessung des Werkzeuges immer nach der Bearbeitung einer zusammenhängenden Fläche erfolgen kann.

Bei Maschinen, die längere Bearbeitungszeiten für eine Fläche benötigen, z.B. Fräsmaschinen für den Werkzeug- und Formenbau, führt eine Unterbrechung der Bearbeitung einer Fläche, eine Vermessung des Werkzeuges und eine anschließende Korrektur der Zustellung des Werkzeuges um den gemessenen Verschleiß jedoch zu einem Absatz in der zu bearbeitenden Fläche, der später mit hohem manuellen Nacharbeitsaufwand beseitigt werden muss, beispielsweise durch Polieren.

Bei vielen Anwendungen, besonders im Werkzeug- und Formenbau, werden die herzustellenden Oberflächen mit einer bestimmten Maßtoleranz versehen, innerhalb derer diese sich befinden müssen. Zusätzlich müssen die Oberflächen Polierqualität haben. Daher wird versucht, bereits auf der Bearbeitungsmaschine eine Oberfläche herzustellen, die innerhalb der Toleranzen liegt

und eine möglichst hohe Oberflächenqualität erreicht, insbesondere keine störenden Absätze hat.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, welches bei einfacher Ausgestaltung und betriebssicherer Durchführbarkeit eine Verschleißkorrektur unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass das Werkzeug nach der Verschleißmessung zumindest in seine vor der Unterbrechung befindliche Zustellposition zurückgefahren und der Bearbeitungsvorgang fortgesetzt wird, und dass nachfolgend innerhalb eines Zeitraums kontinuierlich eine Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes erfolgt.

Die Erfindung ermöglicht es somit, den Bearbeitungsprozess während der Bearbeitung einer Fläche beliebig oft zwecks Werkzeugvermessung zu unterbrechen und den gemessenen Verschleiß in der Steuerung so zu korrigieren, dass es nicht zu unerwünschten Absätzen auf der Oberfläche kommt. Damit können erheblich engere Toleranzen und bessere Oberflächen bei der Bearbeitung hergestellt werden.

Dazu wird eine Art schleichende Korrektur in der Steuerung angewandt. Der Bearbeitungsprozess wird unterbrochen und anschließend der Verschleiß des Bearbeitungswerkzeuges in einer geeigneten hochgenauen Einrichtung gemessen. Die Messeinrichtung kann beispielsweise eine Laserlichtschranke sein oder eine Messvorrichtung (Messdiamant), die den bei Kontakt mit dem

rotierenden Werkzeug entstehenden Schall registriert und darüber das Werkzeugmaß erfasst.

Nach der Vermessung wird erfindungsgemäß der Bearbeitungsprozess zunächst fortgesetzt, ohne dass die Zustellung des Werkzeugs (der Werkzeugachsen) um den gemessenen Verschleiß korrigiert wird. So wird ein Absatz auf der herzustellenden Oberfläche vermieden. Stattdessen wird eine vom Maschinenbediener frei wählbare „schleichende“ Korrektur gewählt. Die erforderliche Korrektur der Zustellung der Maschinenachsen erfolgt somit kontinuierlich während der Bearbeitung.

Nach Beendigung der Verschleißmessung und erneuter Zustellung des Werkzeugs kann dieses auch um einen vorgegebenen Betrag zurückgefahren werden, so dass ein sanfter Einlauf des Werkzeugs in die Werkstückoberfläche erfolgt. Das gleiche Verfahren kann auch bei einem Werkzeugwechsel angewandt werden.

Die Geschwindigkeit der Korrektur kann über den Bearbeitungsweg oder eine Bearbeitungszeit definiert werden. Zusätzlich kann die Geschwindigkeit bezogen auf den gesamten gemessenen Verschleiß oder bezogen auf eine Maßeinheit, beispielsweise 0,001 mm definiert werden, also z.B. 0,001 mm / min..

Dabei ist es auch möglich, dass die Geschwindigkeit der Korrektur so langsam gewählt wird, dass diese noch nicht vollständig ausgeführt ist, wenn bereits die nächste Unterbrechung des Bearbeitungsprozesses zwecks nächster Verschleißmessung erfolgt. In diesem Fall besteht die Möglichkeit eine Fehler- oder Warnmeldung für den Bediener zu erzeugen oder auch das Ergebnis der neuen Verschleißmessung und die noch nicht vollständig ausgeführte Korrektur des Verschleißes aus der vorherigen Messung zu addieren und die schleichende Korrektur mit dem aufsummierten Korrekturwert weiterlaufen zu lassen.



Bei einigen Anwendungen erfolgt die Bearbeitung des Werkstückes immer nur mit einem Punkt der Werkzeugschneide. Je nach Neigung der zu bearbeitenden Fläche wandert dieser Punkt auf der Schneide an verschiedene Orte, beispielsweise bei der Bearbeitung von Freiformflächen in Formen mit kugelförmigen Fräswerkzeugen. In der Folge ist der Verschleiß an der Schneide nicht gleichmäßig, sondern davon abhängig, wie lange der jeweilige Punkt an der Schneide im Eingriff ist. Daher ist es in diesen Fällen erforderlich, die gesamte Schneide zu vermessen, beispielsweise abschnittsweise. Es wird nicht nur ein Verschleißwert für das Werkzeug erfasst, sondern der Verschleiß entlang der Schneide. Bei mehrschneidigen Werkzeugen entsteht durch die Rotation des Werkzeuges ein Hüllkörper. Bei der Werkzeugvermessung wird dann der Hüllkörper vermessen, der durch die höchsten Punkte sämtlicher Schneiden entsteht.

Die Verschleißkorrektur, d.h. Zustellung der Maschinenachsen, muss in diesem Fall den jeweils bei der Bearbeitung aktuellen Eingriffspunkt der Schneide(n) berücksichtigen. Die erfindungsgemäße, schleichende Korrektur kann dann auch nur für diesen Eingriffspunkt der Schneide(n) aktiv sein, da sonst bei ständig wechselnden Eingriffspunkten auf der Schneide wiederum Absätze entstehen würden. Es ist also erfindungsgemäß eine in kleine Abschnitte unterteilte Betrachtung der Schneide vorgesehen, beispielsweise über ein Raster von Stützpunkten. Die Zustellung erfolgt normal zur Werkstückoberfläche. Es muss also die Richtung der Werkstückoberfläche bekannt sein. Diese kann üblicher Weise über im Bearbeitungsprogramm ausgegebene Flächennormalenvektoren beschrieben werden.

Wenn die Eingriffspunkte der Schneide vom Bearbeitungsprogramm her nicht bekannt sind, beispielsweise bei Fräsprogrammen über Normalenvektoren, besteht erfindungsgemäß auch die Möglichkeit

den Bearbeitungsfortschritt während der Bearbeitung in der Steuerung online mitzuberechnen, also quasi steuerungsintern zu simulieren, so wie das von Simulationsprogrammen her bekannt ist. Dazu muss natürlich die Werkzeuggeometrie bekannt sein, z.B. durch Vermessen. Auf Grund des laufend berechneten Materialabtrages kann online mitberechnet werden, welchen Materialabtrag die Schneide gerade ausführt und wo sich der Eingriffspunkt auf der Schneide befindet. Dieser kann für die Verschleißkorrektur verwendet werden.

Die Online-Berechnung des Materialabtrages kann erfindungsgemäß auch dazu verwendet werden, die Intervalle der Unterbrechung des Bearbeitungsprozesses zwecks Werkzeugvermessung zu steuern. Wenn die Steuerung berechnet, dass sehr viel Material zerspannt wird, dann erfolgt die Vermessung entsprechend häufiger.

Ein etwas gröberes Verfahren stellt ein gemitteltes Verfahren dar. Hierbei wird auch der Verschleiß entlang der gesamten Schneide gemessen und dann aber ein Durchschnittswert berechnet. Die „schleichende“ Korrektur wird dann bezogen auf diesen Durchschnittswert ausgeführt. Dabei kann auch festgelegt werden, dass die Korrektur nur in einer Achse, beispielsweise der Hauptspindelachse erfolgen soll. In diesem Fall kann es sogar ausreichen, wenn an einem Punkt, z.B. der Werkzeugspitze, der Verschleiß gemessen wird. Dieses Vorgehen ist erforderlich, wenn die Eingriffspunkte auf Grund der Flächenneigung in der Steuerung nicht bekannt sind und auch nicht berechnet werden.

Das Intervall der Verschleißmessungen und der dazu erforderlichen Unterbrechungen des Bearbeitungsprozesses kann über den Bearbeitungsweg oder die Bearbeitungszeit definiert werden. Auch ist es denkbar, das Ergebnis der jeweiligen letzten Verschleißmessung als Maßstab für die Länge des Intervalls bis



zur nächsten Messung zu Grunde zu legen. So entsteht ein sich selbst regelnder Prozess, bei hohem Verschleiß erfolgen die Messungen öfter, bei geringem Verschleiß entsprechend seltener.

Die „schleichende“ Korrektur kann erfindungsgemäß linear erfolgen. Es sind aber auch beliebige andere mathematische Funktionen verwendbar.

Während der gesamten Bearbeitung kann erfindungsgemäß der gesamte Verschleiß des Bearbeitungswerkzeuges mitberechnet werden. Wird eine vom Bediener vorgegebene Gesamtverschleißtoleranz am Werkzeug überschritten, dann wird die Bearbeitung mit dem Werkzeug nicht fortgesetzt, da dieses zu verschlissen ist und nicht mehr richtig schneidet. In diesem Fall kann automatisch ein Schwesterwerkzeug eingewechselt werden.

Auch kann eine zu große Erhöhung des Verschleißes von einer Messung zur nächsten dazu führen, dass das Werkzeug als zu verschlissen eingestuft wird und die Bearbeitung entweder ganz unterbrochen oder mit einem geeigneten Schwesterwerkzeug fortgesetzt wird.

Bei einigen Bearbeitungen drängt sich das Werkzeug während der Bearbeitung etwas ab, d.h. das Werkzeug wird von der Werkstückoberfläche durch die Schnittkräfte weggedrückt, so dass ein nicht erwünschtes Aufmaß entsteht, z.B. bei lang gespannten Fräswerkzeugen, die eine seitliche Bearbeitung durchführen. Die Abdrängung kann verschleißabhängig variieren, d.h. bei neuem scharfem Werkzeug ist die Abdrängung geringer, als bei einem leicht verschlissenen Werkzeug. Diese Abdrängung führt natürlich auch zu Maßabweichungen am Werkstück. Über entsprechend in der Steuerung hinterlegte Erfahrungswerte kann erfindungsgemäß diese verschleißabhängige Abdrängung zusätz-

lich bei der „schleichenden“ Verschleißkorrektur berücksichtigt werden. In diesem Fall findet eine leichte Überkompensation des Verschleißes statt, um die bei zunehmendem Verschleiß erhöhte Abdrängung mit zu kompensieren.

Es ist bekannt, in Maschinen mit Schwesterwerkzeugen zu arbeiten, um bei Überschreiten einer bestimmten Verschleißgrenze automatisch ein Schwesterwerkzeug einzuwechseln. Der Verschleiß wird dazu beispielsweise in Intervallen wie oben beschrieben gemessen. Wird eine vom Bediener vorgegebene oder in der Steuerung hinterlegte Verschleißtoleranz am Werkzeug überschritten, dann wechselt die Maschine automatisch ein von der Geometrie her gleiches Schwesterwerkzeug ein und setzt die Bearbeitung damit fort. Um enge Toleranzen einzuhalten, ist bekannt, dass die Steuerung im Bearbeitungsprogramm an die Stelle zurückspringt, an der die letzte Verschleißmessung erfolgte, und die Bearbeitung ab dieser Stelle fortsetzt. So wird der Bereich des Werkstückes, innerhalb dessen Bearbeitung die Überschreitung der Verschleißtoleranz erfolgte, noch einmal mit dem neuwertigen Werkzeug bearbeitet, um das Überschreiten der Verschleißtoleranz auszugleichen. Bei diesem Verfahren können jedoch auch Absätze auf der Oberfläche des Werkstückes entstehen. Das ist dadurch bedingt, dass das neuwertige Schwesterwerkzeug schärfer als das vorherige Werkzeug ist. Wenn die Bearbeitung an der Stelle der letzten Messung beginnt, dann sind die Schnittkräfte bei dem neuen scharfen Werkzeug geringer und es wird daher weniger von der Werkstückoberfläche weggedrückt und nimmt in der Folge mehr Material ab. Dadurch entsteht an dieser Stelle ein Absatz in der Werkstückoberfläche.

Diese unerwünschten Absätze auf der Werkstückoberfläche bei Einsatz von Schwesterwerkzeugen können auch durch eine „schleichende“ Zustellung gemäß der Erfindung vermieden werden. Das neue Schwesterwerkzeug beginnt die Bearbeitung wie

oben beschrieben an der Programmstelle der vorherigen Werkzeugmessung. Jedoch wird die Bearbeitung mit einer geringen Werkzeugkorrektur begonnen, so dass das neue Schwesterwerkzeug zunächst kein Material abnimmt, da der Bereich bereits von dem Vorgängerwerkzeug bearbeitet wurde. Es bleibt also geringfügig über der Werkstückoberfläche. Während des Programmlaufs wird nun wiederum langsam zugestellt, d.h. die Werkzeugkorrektur langsam reduziert, so dass das Werkzeug sich langsam der vom vorherigen Werkzeug hergestellten Materialoberfläche nähert und schließlich ganz langsam in das Material eintaucht und beginnt etwas Material abzunehmen. So entsteht ein fast tangentialer Übergang und die unerwünschten Absätze werden vermieden. Es ist nicht notwendig bei diesem Verfahren genau an der Stelle der letzten Messung die Bearbeitung mit dem Schwesterwerkzeug fortzusetzen. Um ausreichend Bearbeitungsweg für das langsame Zustellen zur Verfügung zu haben, kann in dem Bearbeitungsprogramm auch noch weiter zurückgesprungen werden.

Bei vielen Anwendungen kommen Bearbeitungswerkzeuge unterschiedlicher Größe zum Einsatz. Dies ist beispielsweise bei Fräsaufgaben erforderlich, wenn kleine Innenradien bearbeitet werden müssen, die neben relativ großen Flächen liegen. In diesen Fällen wird die große Fläche üblicher Weise mit einem Werkzeug mit großem Durchmesser bearbeitet, damit die Bearbeitungszeiten nicht so lang sind und der Zeilenabstand zwischen den Werkzeugbahnen nicht so eng sein muss, um eine gute Oberfläche herzustellen. Für die Bearbeitung der kleinen Innenradien wird dann ein Werkzeug mit kleinem Radius verwendet. Durch den Werkzeugwechsel entstehen meistens auch unerwünschte Absätze auf der Werkstückoberfläche. Diese sind bedingt durch Toleranzen in der Werkzeugvermessung, durch unterschiedliche Schnittkräfte und andere Effekte. Sie lassen sich nicht vollständig vermeiden. Eine Möglichkeit, Absätze auf der Werkstückoberfläche sicher zu vermeiden, ist ein „schleichender“

Einlauf der kleineren Nachfolgewerkzeuge. Ähnlich wie bei den Schwesterwerkzeugen beschrieben, beginnt das Werkzeug zur Bearbeitung der kleinen Innenradien in einem Bereich, in dem zuvor bereits die Werkstückoberfläche von einem größeren Werkzeug hergestellt wurde und bleibt zunächst geringfügig über der Werkstückoberfläche. Das Bearbeitungsprogramm kann dann so gestaltet sein, dass das Bearbeitungswerkzeug sich langsam (beispielsweise in Zeilen) auf den kleinen Radius zubewegt, und dabei erfolgt wiederum eine „schleichende“ Zustellung, so dass das kleine Werkzeug ganz langsam in die Oberfläche des Werkstückes eintaucht und einen fast tangentialen Übergang herstellt.

Das gleiche Verfahren wird erfindungsgemäß auch am Ende der Bearbeitung mit dem kleineren Werkzeug angewandt, wenn dieses wiederum an eine Fläche angrenzt, die zuvor mit einem größeren Werkzeug bearbeitet wurde. Anstatt die Bearbeitung abrupt zu beenden, wird das Bearbeitungsprogramm in den Bereich der Werkstückoberfläche, die zuvor von dem größeren Werkzeug bearbeitet wurde, hineinlaufen und die Maschine während der Bearbeitung die Werkzeugkorrektur ganz langsam erhöhen, so dass ein fast tangentialer Auslauf der mit dem kleinen Werkzeug bearbeiteten Werkstückoberfläche in die mit dem größeren Werkzeug bearbeitete Werkstückoberfläche entsteht.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Bearbeitungssituation eines Werkstücks mittels eines Werkzeugs im abgehobenen Zustand des Werkzeugs,

Fig. 2 eine Darstellung einer Fehlerkorrektur nach dem Stand der Technik,

Fig. 3 eine Darstellung einer Fehlerkorrektur gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Bewegung eines Werkzeugs relativ zu einem Werkstück,

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Zustellrichtungen eines Werkzeugs relativ zu einer Werkstück-Oberfläche, und

Fig. 6 eine Darstellung einer gewölbten Werkstückoberfläche bei erfindungsgemäßer Bearbeitung.

In Fig. 1 ist sehr schematisch ein Werkstück 1 dargestellt, welches mittels eines rotierenden Werkzeugs 2 (Fräser, Schleifwerkzeug oder Ähnliches) bearbeitet wird. Das Werkzeug 2 weist an seinem stirnseitigen Ende zumindest eine Schneide 3 auf.

Die Fig. 1 zeigt einen bearbeiteten Bereich 1a, bei welchem ein mit einem Verschleiß versehenes Werkzeug verwendet wurde. Deshalb ist der Materialabtrag auf dem Bereich 1a zu gering. Der Bereich 1b zeigt einen bearbeiteten Bereich mit korrektem Materialabtrag. Durch die in Fig. 2 gezeigte Höhendifferenz ergibt sich ein Absatz 5 zwischen den Bereichen 1a und 1b. Die Höhendifferenz des Absatzes 5 erfolgt dadurch, dass beim Stand der Technik die Bearbeitung der Fläche 1a unterbrochen und das Werkzeug vermessen wird. Dabei wird festgestellt, dass dieses um die Höhendifferenz (siehe Fig. 2) zu wenig in Richtung auf das Werkstück 1 zugestellt ist. Die Zustellung wird daraufhin erhöht. Dies gibt zwar korrekte Maße für die Fläche 1b, es ergibt sich jedoch bei der weiteren Bearbeitung (siehe horizon-



talen Pfeil in Fig. 2) der beschriebene Absatz, der nachfolgend nachbearbeitet werden muss.

Fig. 1 zeigt den Bearbeitungsvorgang nach dem Stand der Technik nach Beendigung der Bearbeitung und Abheben des Werkzeugs 2. Die Fig. 2 zeigt den Bearbeitungsvorgang gemäß Fig. 1 während der noch folgenden Bearbeitung. Mit dem Bezugszeichen 1c ist eine noch unbearbeitete Fläche dargestellt, in Richtung der das Werkzeug 2 bewegt wird. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass sich die Zustellung um den Betrag der Höhendifferenz  $h$  nach erfolgter Verschleißmessung verändert hat. Hierdurch wird die Kante des Absatzes 5 ausgebildet.

Die Fig. 3 zeigt die erfindungsgemäße Situation. Dort erfolgt eine "schleichende" Korrektur über die Weglänge  $L$ , bis das Werkzeug 2 zum Ausgleich der Höhendifferenz  $h$  zugestellt ist. Hierdurch wird das Auftreten der Kante oder Stufe 5 vermieden. Die Länge  $L$  kann über den Weg, die Bearbeitungszeit oder die Bearbeitungsgeschwindigkeit definiert werden, so wie dies oben beschrieben ist.

Die Fig. 4 zeigt in schematischer Weise die meandernde Bewegungsrichtung eines Werkzeugs 2 relativ zu einer Werkstückoberfläche 4 eines Werkstücks 1.

Die Fig. 5 zeigt ein Werkstück 1 mit einer konvexen Werkstückoberfläche 4. Es ist ersichtlich, dass die Zustellrichtung des nicht dargestellten Werkzeugs 2 normal, d.h. senkrecht zur Werkstückoberfläche 4 erfolgt. Die Fig. 5 zeigt die Normalenvektoren in beispielhafter Darstellung.

Die Fig. 6 zeigt eine Situation eines Werkstücks 1 mit einer konkaven Biegung oder Kante. Die dargestellte Arbeitsabfolge zeigt die Bearbeitung durch ein nicht gezeigtes Werkzeug 2,



welches einen kleineren Kopfradius aufweist und deshalb zur Bearbeitung der konkaven Kante geeignet ist. Es ergibt sich, dass durch einen "schleichenden" Einlauf der Zustellung beim Einsatz des eingewechselten Werkzeugs 2 und durch einen entsprechenden "schleichenden" Auslauf vor dem Auswechseln des Werkzeugs Absätze oder Kanten vermieden werden können.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks (1) mittels eines rotierenden, mit zumindest einer Schneide (3) versehenen Werkzeugs (2), bei welchem der Bearbeitungsvorgang in vorbestimmten Zeitintervallen unterbrochen, das Werkzeug (2) von dem Werkstück (1) weggefahren und nachfolgend an dem Werkzeug (2) eine Verschleißmessung durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug (2) nach der Verschleißmessung zumindest in seine vor der Unterbrechung befindliche Zustellposition zurückgefahren und der Bearbeitungsvorgang fortgesetzt wird und dass nachfolgend innerhalb eines Zeitraums kontinuierlich eine Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit und/oder Zeitdauer der kontinuierlichen Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes über den Bearbeitungsweg festgelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit und/oder Zeitdauer der kontinuierlichen Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes über die Bearbeitungszeit festgelegt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit und/oder Zeitdauer der kontinuierlichen Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes über den gemessenen Verschleiß festgelegt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Fehler- und/oder Warnmeldung er-

folgt, wenn die kontinuierliche Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes bis Ablauf des vorbestimmten Zeitintervalls zur Durchführung der nächsten Verschleißmessung noch nicht abgeschlossen ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Verschleiß entlang der gesamten Schneide (3) des Werkzeugs (2) gemessen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur abschnittsweise für einzelne kleine Abschnitte entlang der Schneide (3) des Werkzeugs (2) erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Verschleiß an einem bei der Rotation des Werkzeugs (2) gebildeten Hüllkörper gemessen wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustellung des Werkzeugs (2) zur Verschleißkorrektur normal (senkrecht) zur Werkstückoberfläche (4) erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die normale Zustellung zur Werkstückoberfläche (4) auf der Basis der durch ein Bearbeitungsprogramm vorgegebenen Eingriffspunkte der Schneide des Werkzeugs (2) erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die normale Zustellung zur Werkstückoberfläche (4) auf der Basis einer Online-Berechnung der Eingriffspunkte der Schneide des Werkzeugs (2) abhängig vom jeweiligen Materialabtrag erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das vorbestimmte Zeitintervall auf der Basis des jeweils aktuellen Materialabtrags der Schneide (3) bestimmt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass bei Erreichen eines vorbestimmten maximalen Gesamtverschleißes des Werkzeugs (2) ein Werkzeugwechsel erfolgt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Wechsel des Werkzeugs (2) der Bearbeitungsvorgang an der Stelle der vorangegangenen Unterbrechung fortgesetzt wird und die kontinuierliche Zustellung mit einem kleineren Wert beginnt, so dass das Werkzeug (2) zu Beginn der Zustellung noch nicht mit der Werkstückoberfläche (4) in Eingriff ist.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustellung nach erfolgter Verschleißmessung des Werkstücks (2) zur Kompensation von durch den Verschleiß aufgetretenen Fehlern geringfügig überhöht erfolgt, um elastische Verformungen des Werkzeugs (2) zu kompensieren.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzliche Zustellung auch in seitlicher Richtung und/oder in Normalrichtung zur Oberfläche (4) des Werkstücks (1) zur Kompensation seitlicher Abweichungen des Werkzeugs (2) erfolgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die kontinuierliche Zustellung linear erfolgt.

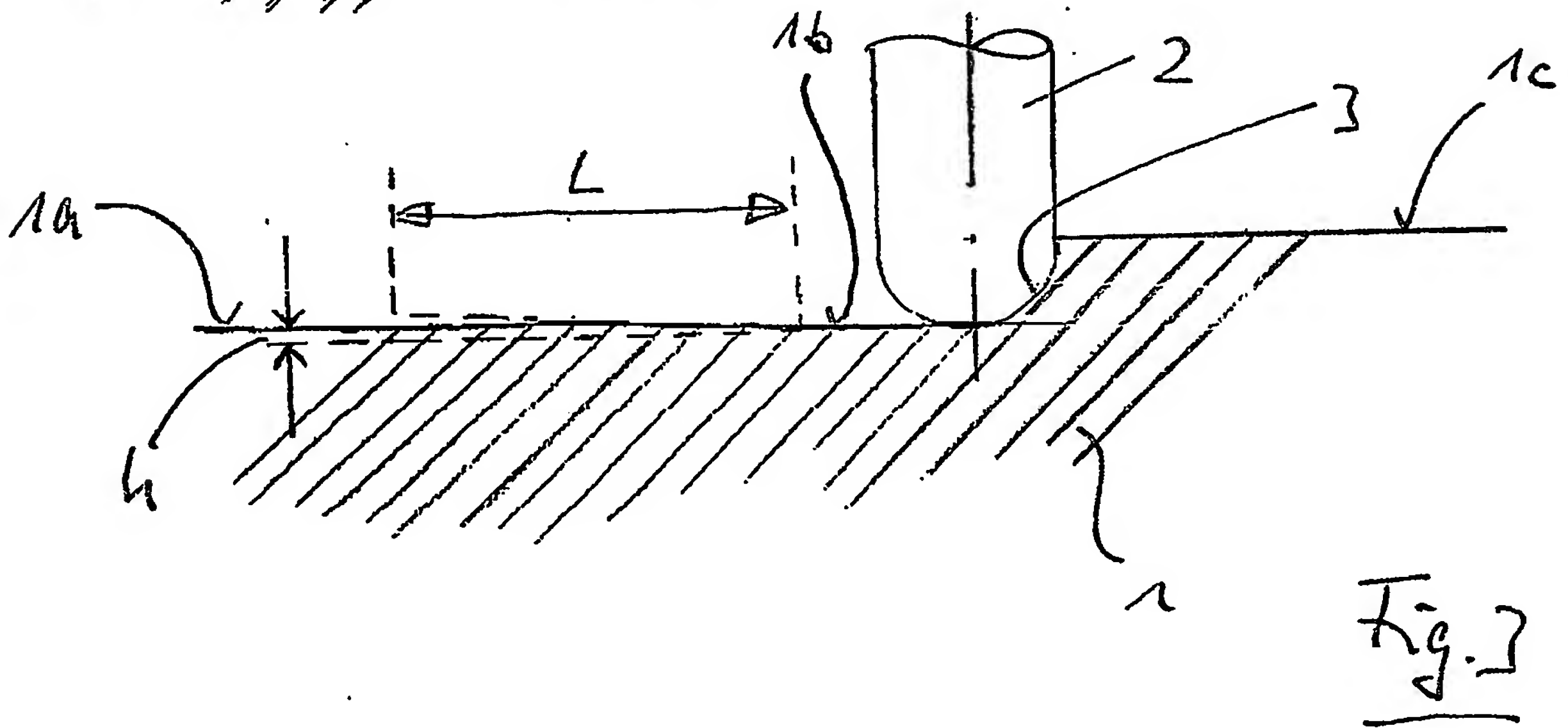
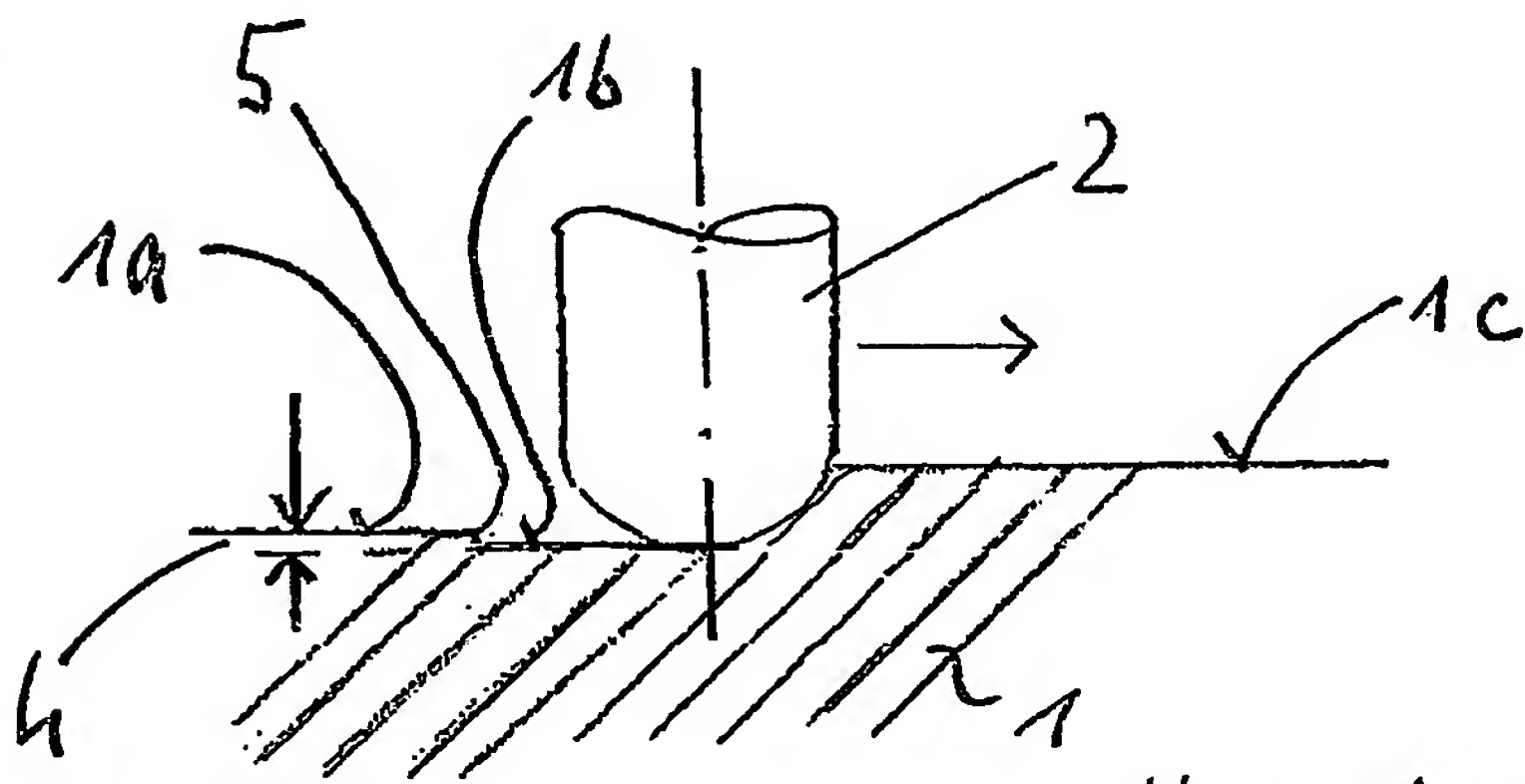
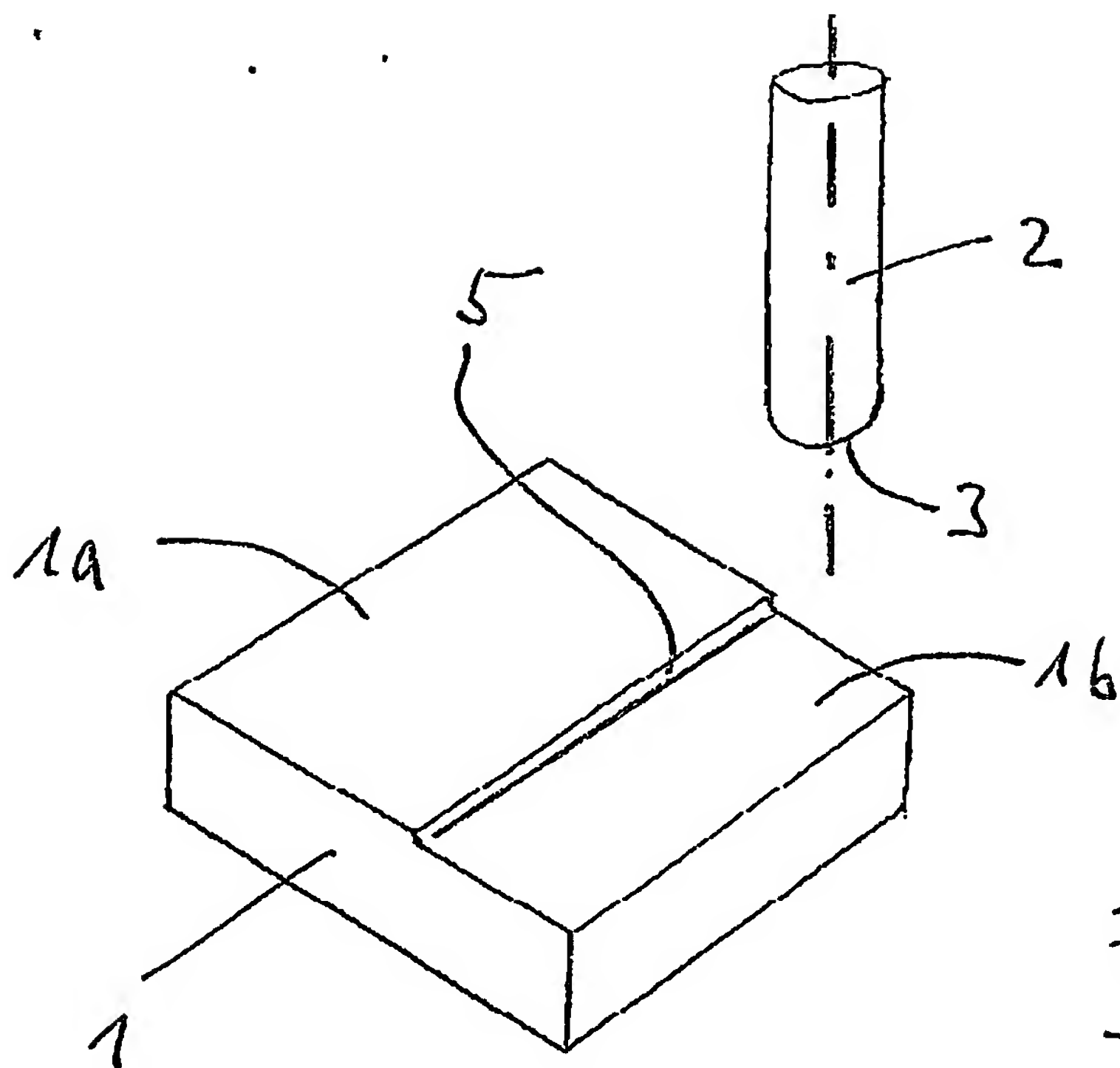
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die kontinuierliche Zustellung nicht-linear erfolgt.

### Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks 1 mittels eines rotierenden, mit zumindest einer Schneide 3 versehenen Werkzeugs 2, bei welchem der Bearbeitungsvorgang in vorbestimmten Zeitintervallen unterbrochen, das Werkzeug 2 von dem Werkstück 1 weggefahren und nachfolgend an dem Werkzeug 2 eine Verschleißmessung durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug 2 nach der Verschleißmessung zumindest in seine vor der Unterbrechung befindliche Zustellposition zurückgefahren und der Bearbeitungsvorgang fortgesetzt wird und dass nachfolgend innerhalb eines Zeitraums kontinuierlich eine Zustellung des Werkzeugs zum Ausgleich des gemessenen Verschleißes erfolgt.

(Fig. 3)





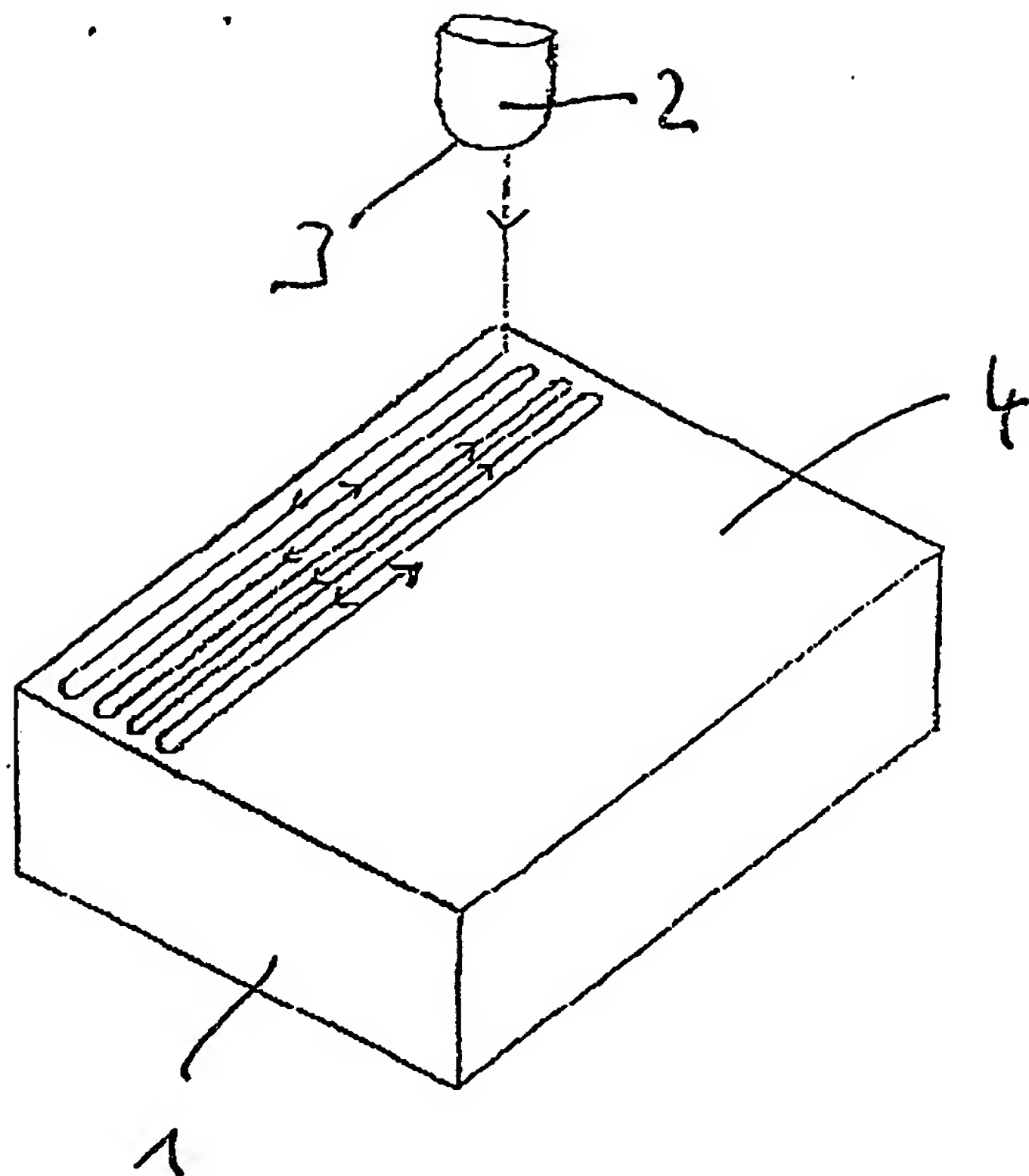


Fig. 4

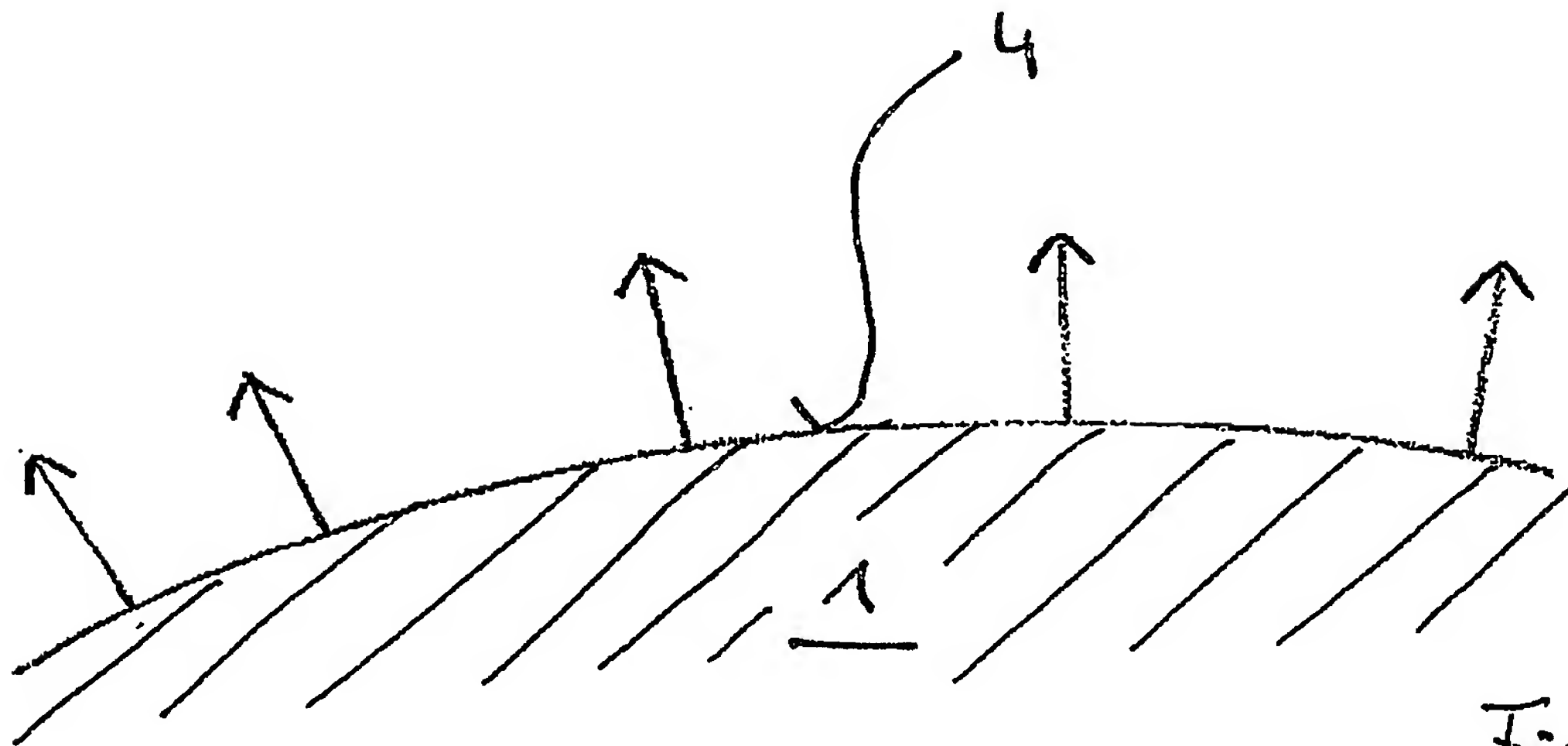


Fig. 5

BEST AVAILABLE COPY

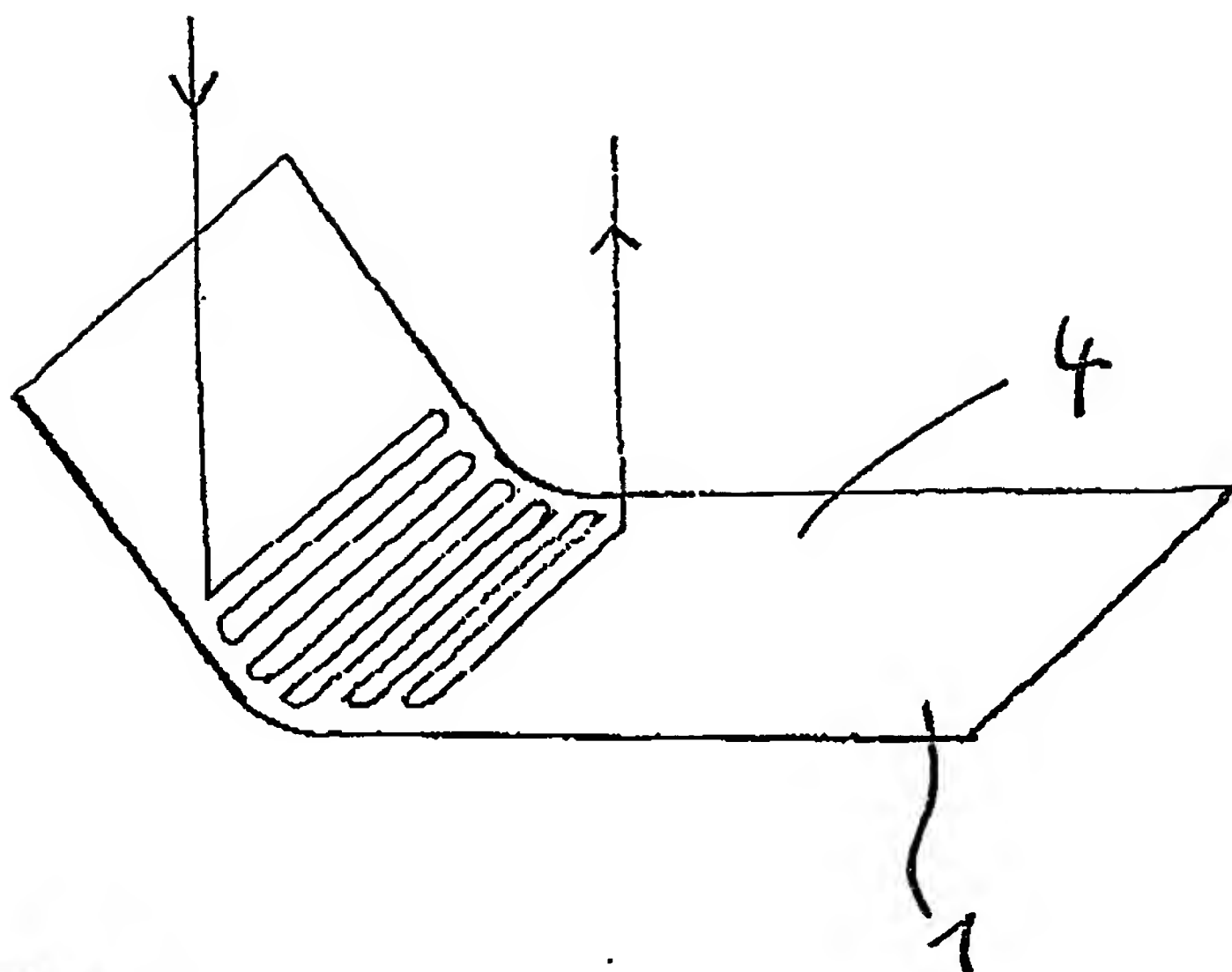
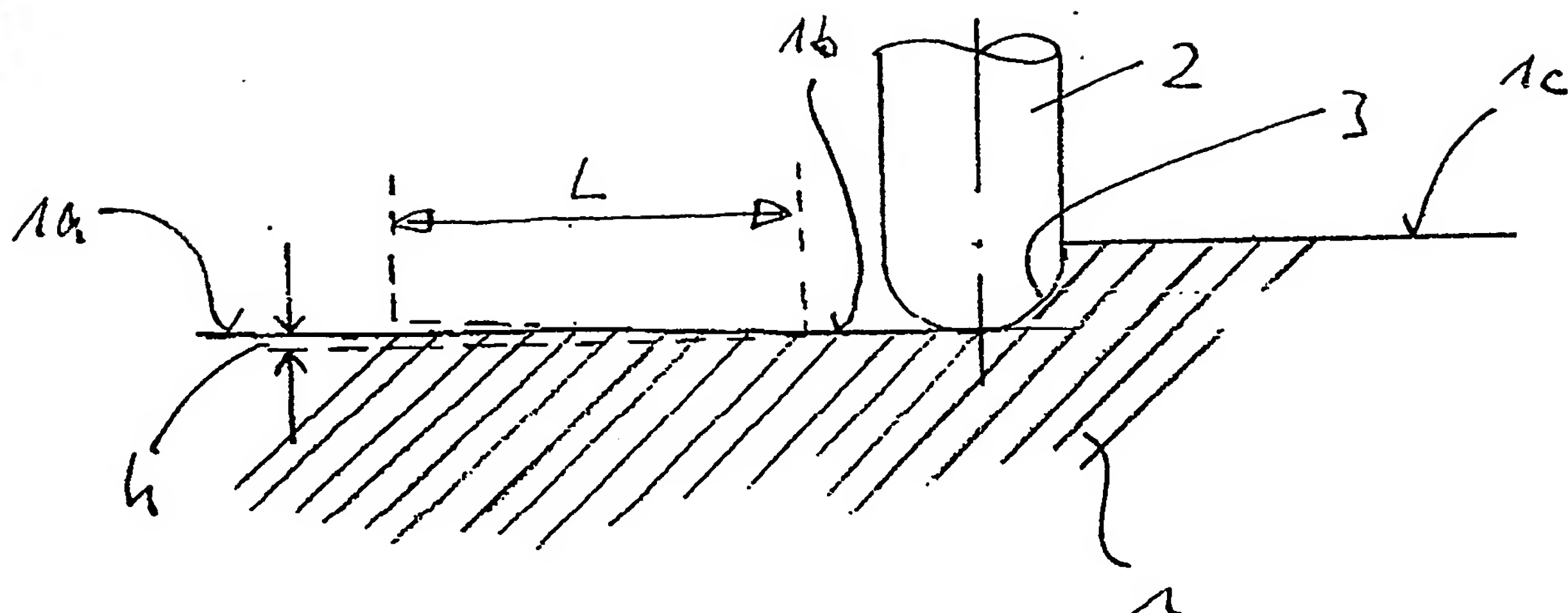


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY



BEST AVAILABLE COPY